



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**SIMULASI SISTEM MEKANIS KARDIOVASKULER MODEL HSP
BERDASARKAN TEKANAN-VOLUME KONDISI ISTIRAHAT**

TUGAS SARJANA

Oleh :

ARDIYANTO

L2E 006 016

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

SEMARANG

MARET 2011

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Ardiyanto
NIM : L2E 006 016
Dosen Pembimbing : 1. Dr.-Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT
Jangka Waktu : 6 (enam) bulan
Judul : Simulasi Sistem Mekanis Kardiovaskuler Model HSP
Berdasarkan Tekanan-Volume Kondisi Istirahat
Isi Tugas :

1. Analisa karakteristik sistem mekanis kardiovaskuleer pada tubuh manusia berupa grafik gelombang tekanan, aliran dan volume berdasarkan model tekanan-aliran pada kondisi istirahat.
2. Membangun blok fungsi dari suatu sistem mekanis kardiovaskular dengan menggunakan bantuan toolbox simulink dari program Matlab 2008b.
3. Memodelkan dan mensimulasikan sistem mekanis kardiovaskular tubuh manusia kondisi istirahat dengan menggunakan bantuan toolbox simulink pada program Matlab 2008b.
4. Melakukan analisa hasil pemodelan dan simulasi sistem mekanis kardiovaskuler untuk dibandingkan dengan data literatur.

Semarang, Februari 2011

Dosen Pembimbing,



Dr.-Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT
NIP: 196605212006041010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

NAMA : Ardiyanto

NIM : L2E 006 016

Tanda Tangan:

Tanggal : 25 Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Ardiyanto
NIM : L2E 006 016
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi Sistem Mekanis Kardiovaskuler Model HSP
berdasarkan Tekanan-Volume Kondisi Istirahat




Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT

Penguji : Muchammad, ST, MT

Penguji : Yusuf Umardani, ST, MT

()
()
()

Semarang,

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,


Dr. Ir. Dipl Ing Berkah Fajar TK.
NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ardiyanto
NIM : L2E 006 016
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**"SIMULAI SISTEM MEKANIS KARDIOVASKULER MODEL HSP
BERDASARKAN TEKANAN-VOLUME KEADAAN ISTIRAHAT"**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 24 Maret 2011

Yang menyatakan



(Ardiyanto)

ABSTRAK

Salah satu metode yang sedang mengalami perkembangan dalam dunia biomedikal adalah pengukuran non-invasif, dengan metode ini penelitian dapat dilakukan tanpa harus membuat pasien mengalami trauma terhadap rasa sakit yang dialami. Salah satu aplikasi dari metode ini adalah impedansi kardiogram (ICG). Dimana metode ini mampu memberikan data tentang kondisi fisiologis dari pasien yang berhubungan dengan kardiovaskuler.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sistem mekanis kardiovaskuler pada manusia. Hasil akan dikeluarkan dalam bentuk gelombang tekanan dan volume pada kondisi istirahat. Selanjutnya hasil simulasi akan diimplementasikan terhadap keadaan fisiologi yang terkena penyakit kardiovaskuler yaitu jantung koroner. Simulasi dilakukan dengan metode parameter tergumpal (*lumped*) dengan model HSP (*heart-sistemic-pulmonary*) dengan menggunakan Matlab R2008b.

Simulasi yang dilakukan menghasilkan grafik gelombang tekanan dan volume, untuk keadaan istirahat diperoleh hasil tekanan ventrikel kiri 120 mmHg, tekanan ventrikel kanan 35 mmHg dan volume ventrikel kiri 150 ml. Hasil implementasi terhadap penyakit jantung koroner dengan memberi besaran variasi terhadap tahanan arteri koroner (KRIv), hasil pada tekanan ventrikel kiri sebagai berikut, yaitu variasi 1 sebesar 160 mmHg, variasi 2 sebesar 210 mmHg, variasi 3 sebesar 270 mmHg dan variasi 4 sebesar 375 mmHg. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian dengan referensi, baik untuk keadaan istirahat maupun hasil implementasi terhadap penyakit jantung koroner. Ini menunjukkan bahwa persamaan dan simulasi yang dilakukan sudah merefleksikan keadaan fisiologis peredaran darah manusia. Perbedaan hasil grafik diakibatkan perbedaan parameter dan asumsi digunakan.

Kata kunci : HSP (*heart-sistemic-pulmonary*), kardiovaskuler, metode *lumped*, simulasi, tekanan-volume.

ABSTRACT

Non-invasive measurement is being a popular method in biomedical field at present time. Using this method an observation can be conducted without causing pain trauma of the patient. Using this instrument the data physiological condition of patient associated with cardiovascular disease can be provided.

The purpose of this research is to characterize the mechanical characteristics of human's cardiovascular system. The results will be issued in the form of pressure waves and volume at rest condition. Furthermore, the results of the simulation will be implemented on the physiological conditions of cardiovascular disease, which is coronary heart disease. The simulation was conducted using lumped parameters model HSP (heart-systemic-pulmonary) using Matlab R2008b.

The simulation results showed in the resting state the left ventricular pressure is 120 mmHg and the right ventricular pressure is of 35 mmHg. Meanwhile, the left ventricular volume is 150 ml. the implementation for coronary heart disease by applying small amount of variation of resistance arteries coronary (KRLv), can be modeled. Comparing to the available references the patient simulation showed satisfactory results. This shows that the present method is adequate to simulate physiological conditions of human blood circulation. The simulation results show specific by references, either to arresting state as well as the results of the implementation of coronary heart disease. This shows that the simulation equality and already reflect the physiological conditions of human blood circulation. The differences resulting from differences in the results graph parameters and the used assumptions.

Key words : HSP (heart-systemic-pulmonary), cardiovascular, lumped method, simulation, pressure-volume.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Sarjana ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tuaku, ***Bapak Muchtar*** dan ***Ibu Rumiah*** atas segala kasih sayang yang tulus serat pengorbanannya.
3. Kakak kandungku ***Ratnaningsih S.T*** dan ***Arif Budi Yanto*** atas semangat dan dukungannya.
4. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Sarjana yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan kepada penulis hingga terselesainya Tugas Sarjana ini.
2. Dimas Primasatya sebagai partner tugas sarjanan dan teman-teman yang telah membantu menyelesaikan tugas sarjana ini..

Penulis menyadari adanya kekurangan yang ada pada laporan Tugas Sarjana ini mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun selalu penulis harapkan.

Akhir kata semoga laporan Tugas Sarjana ini bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca.

Semarang, Februari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN TUGAS SARJANA | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Alasan Pemilihan Judul..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penulisan..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Metodologi Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | 6 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.1 | Sistem Kardiovaskuler | 6 |
| 2.1.1 | Siklus Jantung | 8 |
| 2.1.2 | Tinjauan Sirkulasi | 10 |
| 2.1.3 | Teori Dasar Fungsi Sirkulasi | 11 |
| 2.2 | Komputasi Model Hemodinamik | 12 |
| 2.2.1 | Volume Darah | 13 |
| 2.2.2 | Aliran Darah | 13 |
| 2.2.3 | Tekanan Darah | 14 |
| 2.2.4 | Tahanan Terhadap Aliran Darah | 15 |
| 2.2.5 | Komplians (<i>compliance</i>) Vaskuler (atau Kapasitans) ... | 15 |
| 2.2.6 | Hubungan Antara Tekanan, Aliran dan Tahanan | 16 |
| 2.3 | Impedansi Kardiografi (ICG) | 17 |
| 2.3.1 | Pengukuran Impedansi Kardiografi (ICG) | 19 |
| 2.3.2 | Prinsip Kerja Impedansi Kardiografi (ICG) | 20 |
| 2.4 | Persamaan Dinamika Tekanan-Aliran Fluida Mampat | 24 |
| 2.5 | Parameter Model Terpusat | 25 |
| 2.6 | Jantung Koroner atau Infark Miokard Akut (IMA) | 27 |
| BAB III | METODOLOGI PENELITIAN | 29 |
| 3.1 | Asumsi Sistem | 29 |
| 3.1.1 | Parameter Model | 30 |
| 3.2 | Permodelan | 31 |
| 3.2.1 | Model Sederhana | 31 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 3.2.2 | Representasi Model Sirkuit | 32 |
| 3.2.3 | Model Terpusat | 33 |
| 3.3 | Formulasi Matematis | 34 |
| 3.3.1 | Penyusunan Persamaan Differensial | 34 |
| 3.3.2 | Komponen Aliran dan Tekanan | 36 |
| 3.3.3 | Fungsi Input | 37 |
| 3.3.4 | Representasi Model Simulink | 37 |
| 3.3.5 | Implementasi Kondisi Fisiologis pada Model | 40 |
| 3.4 | Diagram Alir Penelitian | 42 |
| BAB IV | ANALISA DAN PEMBAHASAN | 43 |
| 4.1 | Keluaran dari Model Sistem Sirkulasi..... | 43 |
| 4.1.1 | Tekanan pada Ventrikel Kiri (Tekanan Sistol) | 43 |
| 4.1.2 | Tekanan pada Ventrikel Kanan | 45 |
| 4.1.3 | Volume pada Ventrikel Kiri | 48 |
| 4.2 | Variasi Nilai Tahanan dan Implementasi Kondisi Fisiologis | 50 |
| 4.2.1 | Jantung Koroner (Infark Miokard Akut / IMA) | 50 |
| 4.3 | Analisa Hasil Keluaran | 61 |
| 4.3.1 | Hubungan Tahanan Pembuluh Arteri Koroner (KR_{lv}) dengan Penyakit Jantung Koroner | 62 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 64 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 5.1 Kesimpulan | 64 |
| 5.2 Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | xiv |
| LAMPIRAN..... | xv |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 3.1 | Parameter Masukan | 28 |
| Tabel 3.2 | Variabel Keluaran | 29 |
| Tabel 3.3 | Persamaan Differensial dari Model..... | 34 |
| Tabel 3.4 | Parameter yang Digunakan dalam Permodelan | 36 |
| Tabel 3.7 | Variasi nilai tahanan pembuluh arteri koroner KR_{lv} | 40 |
| Tabel 4.1 | Variasi nilai tahanan pembuluh arteri koroner KR_{lv} | 51 |
| Tabel 4.2 | Variasi nilai tahanan dan Nilai Tekanan Ventrikel Kiri | 54 |
| Tabel 4.3 | Variasi nilai tahanan dan Nilai Tekanan Ventrikel Kanan | 58 |
| Tabel 4.4 | Variasi nilai tahanan dan Nilai Volume Ventrikel Kiri | 61 |
| Tabel 4.8 | Data Nilai Variasi Tahanan Pembuluh Arteri Koroner dan Tekanan Ventrikel Kiri | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Sistem Sirkulasi Darah | 7 |
| Gambar 2.2 Struktur jantung dan arah aliran darah yang melewati ruang jantung | 9 |
| Gambar 2.3 Sirkulasi Peredaran Darah | 11 |
| Gambar 2.4 Hubungan antara tekanan, tahanan, dan aliran darah | 16 |
| Gambar 2.5 Kurva Impedansi Dada yang diperoleh dari Model. Defleksi naik di dalam kurva menandakan suatu penurunan impedansi ($-\Delta Z'$) | 17 |
| Gambar 2.6 Gelombang Kardiogram Impedansi (dZ/dt) | 18 |
| Gambar 2.7 Pengukuran Impedansi Kardiogram | 19 |
| Gambar 2.8 Struktur Silindris dari Bahan Penghantar yang Homogen dengan Panjang L yang Seragam | 20 |
| Gambar 2.9 Elemen Hemodinamik Pembuluh Darah | 24 |
| Gambar 2.10 Representasi Rangkaian Ekuivalent Listrik | 25 |
| Gambar 2.11 (a) Potongan Melintang Pembuluh Arteri Normal/Sehat..... | 26 |
| (b) Potongan Melintang Pembuluh Arteri Penyempitan karena Timbunan Kolesterol..... | 26 |
| Gambar 3.1 Sistem Sirkulasi Darah | 30 |
| Gambar 3.2 Representasi Elemen Hemodinamik Pembuluh Darah | 31 |
| Gambar 3.3 Representasi sirkuit Pembuluh Darah | 31 |
| Gambar 3.4 Model Terpusat Sistem Sirkulasi yang Disederhanakan | 32 |
| Gambar 3.5 Representasi Blok Simulink dari Model | 37 |
| Gambar 3.6 Representasi Blok Simulink dari Sistem Kontrol | 37 |
| Gambar 3.7 Representasi Blok Simulink dari Jantung Kanan | 38 |
| Gambar 3.8 Representasi Blok Simulink dari Jantung Kiri | 38 |
| Gambar 3.9 Representasi Blok Simulink dari Paru-paru | 39 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.10 Representasi Blok Simulink dari Sistem Sirkulasi | 39 |
| Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian | 42 |
| Gambar 4.1 Grafik Tekanan pada Ventrikel Kiri Hasil Simulasi pada Kondisi Normal Istirahat | 43 |
| Gambar 4.2 Validasi Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Hasil Simulasi dengan Grafik Referensi | 44 |
| Gambar 4.3 Grafik Tekanan pada Ventrikel Kanan Hasil Simulasi pada Kondisi Normal Istirahat | 45 |
| Gambar 4.4 Validasi Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Hasil Simulasi dengan Grafik Referensi | 46 |
| Gambar 4.5 Grafik Volume pada Ventrikel Kiri Hasil Simulasi pada Kondisi Normal Istirahat | 48 |
| Gambar 4.6 Validasi Grafik Volume Ventrikel Kiri Hasil Simulasi dengan Grafik Referensi | 49 |
| Gambar 4.7 (a) Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Kondisi Normal | 51 |
| (b) Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Variasi 1 | 52 |
| (c) Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Variasi 2 | 52 |
| (d) Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Variasi 3 | 53 |
| (e) Grafik Tekanan Ventrikel Kiri Variasi 4 | 53 |
| Gambar 4.8 (a) Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Kondisi Normal | 55 |
| (b) Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Variasi 1 | 55 |
| (c) Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Variasi 2 | 56 |
| (d) Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Variasi 3 | 56 |
| (e) Grafik Tekanan Ventrikel Kanan Variasi 4 | 57 |
| Gambar 4.9 (a) Grafik Volume Ventrikel Kiri Kondisi Normal | 58 |

| | |
|---|----|
| (a) Grafik Volume Ventrikel Kiri Variasi 1 | 59 |
| (a) Grafik Volume Ventrikel Kiri Variasi 2 | 59 |
| (a) Grafik Volume Ventrikel Kiri Variasi 3 | 60 |
| (a) Grafik Volume Ventrikel Kiri Variasi 4 | 60 |
| Gambar 4.10 Grafik Hubungan Tahanan Pembuluh Arteri Koroner (KR_{lv}) dengan Tekanan Ventrikel Kiri | 62 |